

Compito 20.01.2026

- (6p) Rappresentare la geometria della molecola H_2SO_3 e descriverne i legami con la teoria del legame di valenza: presentare il ragionamento seguito (S, Z = 16).
- (4p) Indicare quali delle seguenti combinazioni di numeri quantici sono corrette ed in quale orbitale è contenuto l'elettrone. Spiegare inoltre perché le altre non sono ammissibili:

$$n = 2; l = 2; m_l = 2; m_s = 1/2$$

$$n = 4; l = 1; m_l = 1; m_s = -1/2$$

$$n = 1; l = 0; m_l = 0; m_s = -1/2$$

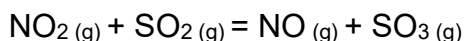
$$n = 3; l = 0; m_l = 1; m_s = 1/2$$

- (4p) Sapendo che la forza elettromotrice della cella:



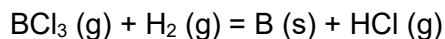
è pari a 1.298 V e che $E_{\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}}^0 = 1.230 \text{ V}$, determinare la K_a dell'acido debole HA (acido formico).

- (4p) Calcolare la solubilità di $\text{Mg}(\text{OH})_2$ in una soluzione tamponata a $\text{pH} = 10.60$ sapendo che la sua solubilità in acqua pura è pari a $6.53 \times 10^{-4} \text{ g/L}$.
- (4p) La reazione in fase gassosa:



ha $K_c = 33$ alla temperatura di 450 K. Un recipiente indeformabile del volume di 5.00 L alla stessa temperatura viene riempito con $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$ di SO_2 , $2.8 \times 10^{-3} \text{ mol}$ di SO_3 , $4.1 \times 10^{-2} \text{ mol}$ di NO e $2.3 \times 10^{-2} \text{ mol}$ di NO_2 . Dedurre se la reazione è all'equilibrio. Se non lo è, indicare in quale verso si sposta la reazione e determinare, una volta raggiunto l'equilibrio, le concentrazioni dei vari composti e la pressione totale nel contenitore. Prevedere inoltre quale sarà la pressione totale nel contenitore una volta che l'equilibrio viene raggiunto dopo aver portato il volume del contenitore a 10.00 L.

- (4p) Avendo a disposizione una soluzione di metilammina CH_3NH_2 3.50 M ($\text{p}K_B = 3.37$) e una di HCl 2.25 M, calcolare le quantità necessarie dei due reagenti per preparare 5.00 L di soluzione tampone che abbia $\text{pH} = 10.20$ e la concentrazione dello ione metilammonio pari a 0.275 M.
- (4p) Il boro elementare, $\text{B}_{(s)}$ si produce tramite la reazione (da bilanciare). Si determini ΔG^0 della reazione e il range di temperatura in cui il processo è spontaneo, sapendo che:



Composto	BCl_3	H_2	B	HCl
$\Delta H_f^0 (\text{kJ mol}^{-1})$	- 402.94			- 92.31
$S_f^0 (\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1})$	290.17	130.68	5.86	186.20

H 1.00794 g/mol

Mg 24.305 g/mol

O 15.9994 g/mol

COMPIUTO 20.01.2026

Es. 1

H_2SO_3 : l'ossiacido ha la stessa struttura del suo ossoanione SO_3^{2-} . Nell'ossiacido, gli atomi di H saranno legati agli O che portano le cariche negative.

Atomo centrale: S $Z=16$

~~1s~~
~~2s 2p~~
~~3s 3p 3d~~
~~4s 4p 4d 4f~~

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$

Guscio di valenze: $3s^2 3p^4$

n° elettroni: $6(s) + 3 \cdot 2(O_s) - 3 \cdot 2(O_\pi) + 2(carica) = 8 \text{ elettroni}$

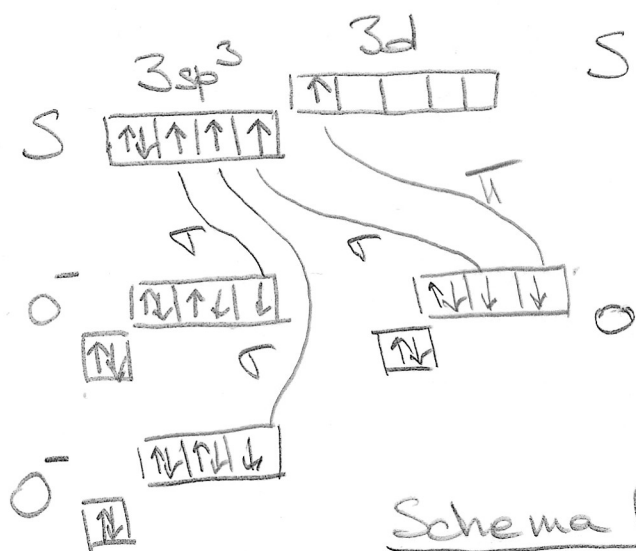
4 coppie strutturali

Geometria coppie strutturali: AX_4

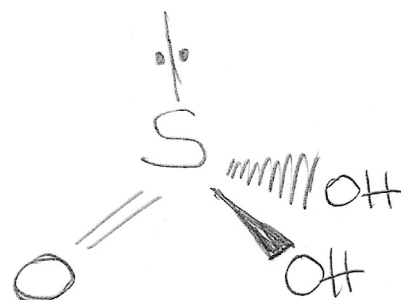
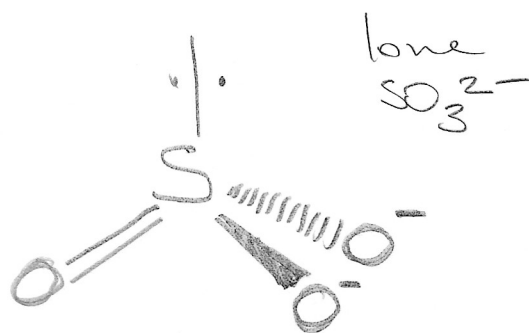
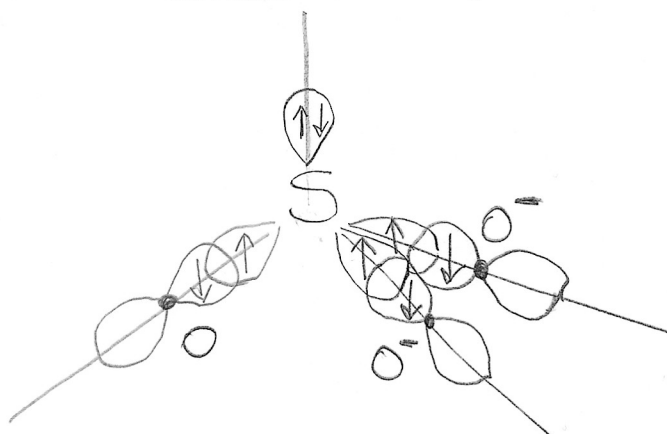
Geometria molecolare: AX_3E

PIRAMIDE a BASE TRIANGOLARE

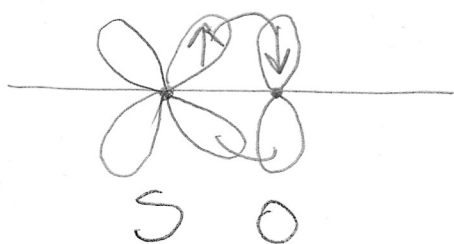
Ibridizzato sp^3



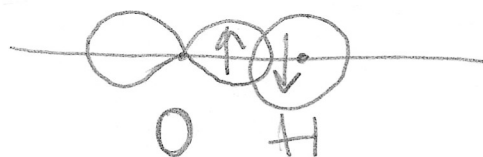
Schema legami



Schema legame π



Schema legame σ -H



Es. 2

$n \quad l \quad m_l \quad m_s$

2 2 2 $1/2$

NON ACCETTABILE

$l = 0, 1, 2, \dots, n-1$

1 0 0 $-1/2$

orbitale 1s

4 1 1 $-1/2$

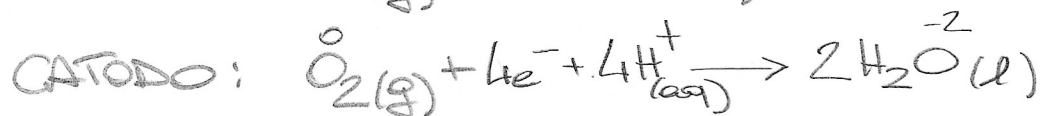
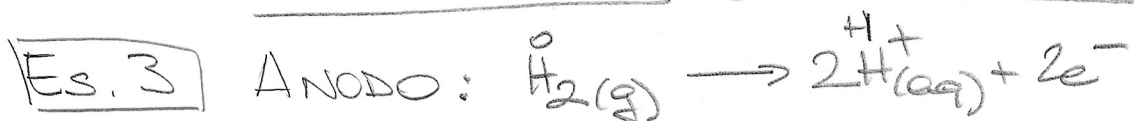
orbitale 4p

3 0 1 $1/2$

NON ACCETTABILE

$-l \leq m_l \leq l$

Es. 3



$$E_c = E_{\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}}^\circ + \frac{0.0591}{4} \log P_{\text{O}_2} \cdot [\text{H}^+]^4 =$$

$$= 1.230 + \frac{0.0591}{4} \log(0.65 \cdot 0.15^4) = 1.178 \text{ V}$$

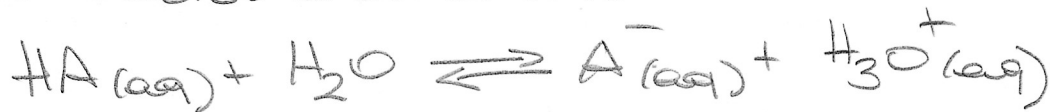
$$f_{\text{em}} = E_c - E_A \Rightarrow E_A = E_c - f_{\text{em}} = 1.298 - 1.178 = 0.120 \text{ V}$$

$$E_A = E_{\text{H}^+/\text{H}_2}^\circ + \frac{0.0591}{2} \log \frac{[\text{H}^+]^2}{P_{\text{H}_2}} = \frac{0.0591}{2} \log \frac{[\text{H}^+]^2}{1.00} = 0.120$$

$$\log [\text{H}^+] = 0.120 \cdot \frac{2}{0.0591} \cdot \frac{1}{2} = 2.03$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-2.03} = 9.33 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

Nella soluzione all'anodo:



in 0,410

eq 0,410 - 9,33 · 10⁻³

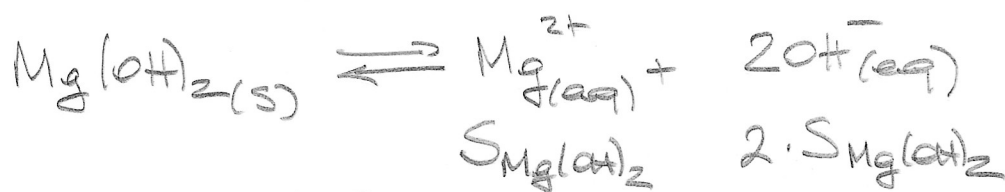
9,33 · 10⁻³

9,33 · 10⁻³

$$K_A = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{(9,33 \cdot 10^{-3})^2}{0,410 - 9,33 \cdot 10^{-3}} = 2,17 \cdot 10^{-4}$$

Es. 4 in acqua pura:

$$S_{Mg(OH)_2} = \frac{S_{Mg(OH)_2}^{gl}}{MM} = \frac{6,53 \cdot 10^{-4}}{58,319} = 1,12 \cdot 10^{-5} M$$

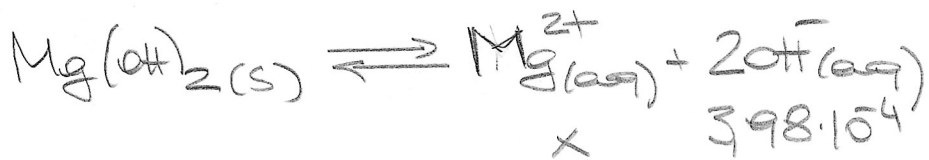


$$K_{ps} = [Mg^{2+}][OH^-]^2 = 4 \cdot (S_{Mg(OH)_2})^3 = 4 \cdot (1,12 \cdot 10^{-5})^3 = 5,62 \cdot 10^{-15}$$

in soluzione tampone:

$$pOH = 14 - pH = 14 - 10,60 = 3,40$$

$$[OH^-] = 10^{-pOH} = 10^{-3,40} = 3,98 \cdot 10^{-4} M$$



$$K_{ps} = [Mg^{2+}][OH^-]^2 = x(3,98 \cdot 10^{-4})^2 = 5,62 \cdot 10^{-15}$$

$$x = \frac{5,62 \cdot 10^{-15}}{(3,98 \cdot 10^{-4})^2} = 3,55 \cdot 10^{-8} M$$



Nelle condizioni iniziali:

$$[\text{NO}_2]_i = \frac{n_{\text{NO}_2}}{V} = \frac{2,3 \cdot 10^{-2}}{5,00} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{SO}_2]_i = \frac{n_{\text{SO}_2}}{V} = \frac{1,0 \cdot 10^{-2}}{5,00} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{NO}]_i = \frac{n_{\text{NO}}}{V} = \frac{4,1 \cdot 10^{-2}}{5,00} = 8,2 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{SO}_3]_i = \frac{n_{\text{SO}_3}}{V} = \frac{2,8 \cdot 10^{-3}}{5,00} = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

$$Q = \frac{[\text{NO}][\text{SO}_3]}{[\text{NO}_2][\text{SO}_2]} = \frac{(8,2 \cdot 10^{-3})(5,6 \cdot 10^{-4})}{(4,6 \cdot 10^{-3})(2,0 \cdot 10^{-3})} = 0,499 < 33$$

Quindi la reazione non è all'equilibrio ed il sistema evolve verso la formazione dei prodotti.

$$\begin{array}{ccccccc}
 & \text{NO}_2(\text{g}) & + & \text{SO}_2(\text{g}) & \rightleftharpoons & \text{NO}(\text{g}) & + & \text{SO}_3(\text{g}) \\
 \text{in} & 4,6 \cdot 10^{-3} & & 2,0 \cdot 10^{-3} & & 8,2 \cdot 10^{-3} & & 5,6 \cdot 10^{-4} \\
 \text{eq} & 4,6 \cdot 10^{-3} - x & & 2,0 \cdot 10^{-3} - x & & 8,2 \cdot 10^{-3} + x & & 5,6 \cdot 10^{-4} + x
 \end{array}$$

$$K_c = \frac{[\text{NO}] \cdot [\text{SO}_3]}{[\text{NO}_2] \cdot [\text{SO}_2]} = \frac{(8,2 \cdot 10^{-3} + x)(5,6 \cdot 10^{-4} + x)}{(4,6 \cdot 10^{-3} - x)(2,0 \cdot 10^{-3} - x)} = 33$$

Risolvendo:

$$x_1 = 1,75 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

) $x_2 = 532 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ Non accettabile
 perché non ha senso fisico
 (le concentrazioni dei reagenti
 diventano negative)

All'equilibrio:

$$[\text{NO}_2] = 4,6 \cdot 10^{-3} - 1,75 \cdot 10^{-3} = 2,85 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{SO}_2] = 2,0 \cdot 10^{-3} - 1,75 \cdot 10^{-3} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

$$[\text{NO}] = 8,2 \cdot 10^{-3} + 1,75 \cdot 10^{-3} = 9,95 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{SO}_3] = 5,6 \cdot 10^{-4} + 1,75 \cdot 10^{-3} = 2,31 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

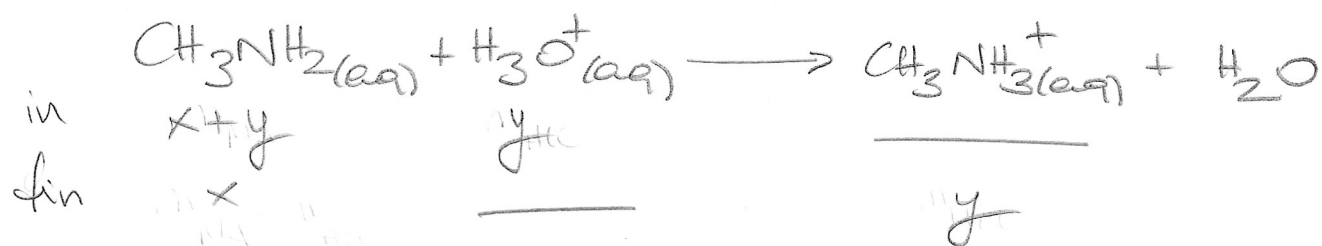
$$\begin{aligned} P_{\text{TOT}} &= \frac{n_{\text{TOT}} \cdot RT}{V} = ([\text{NO}_2] + [\text{SO}_2] + [\text{NO}] + [\text{SO}_3]) RT = \\ &= (2,85 \cdot 10^{-3} + 2,5 \cdot 10^{-4} + 9,95 \cdot 10^{-3} + 2,31 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,0821 \cdot 450 = \\ &= 0,567 \text{ atm} \end{aligned}$$

Siccome per la reazione $\Delta n = 0$ (il numero di moli gassose non cambia nel corso della reazione), la posizione dell'equilibrio non verrà influenzata dalla pressione totale nel contenitore. Di conseguenza, a seguito dell'aumento di volume, avviene l'espansione del gas senza cambio del numero di moli dei vari composti. Tra i 2 stati di equilibrio esiste quindi la relazione:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{0,567 \cdot 5,00}{10,00} = 0,2835 \text{ atm}$$

Es. 6 Il tampone si prepara attraverso la reazione:



dove x = moli CH_3NH_2 all'equilibrio

y = moli CH_3NH_3^+ all'equilibrio

Nel tampone si instaura l'equilibrio:



$$K_A = \frac{K_W}{K_B} = \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_2][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+]} = \frac{x/V \cdot 10^{-\text{pH}}}{y/V}$$

oppure

$$\text{pH} = \text{p}K_A + \log \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_2]}{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+]} = 14 - \text{p}K_B + \log \frac{x/V}{y/V}$$

Sapendo che all'equilibrio $[\text{CH}_3\text{NH}_3^+] = 0,275 \text{ M}$:

$$[\text{CH}_3\text{NH}_3^+] = \frac{y}{V} \Rightarrow y = V \cdot [\text{CH}_3\text{NH}_3^+] = 5,00 \cdot 0,275 = 1,375 \text{ mol}$$

$$10,20 = 14 - 3,37 + \log \frac{x}{1,375}$$

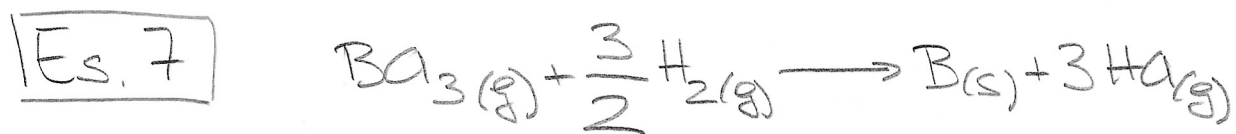
$$\log \frac{x}{1,375} = 10,20 - 14 + 3,37 = -0,43$$

$$\frac{x}{1,375} = 10^{-0,43}$$

$$x = 1,375 \cdot 10^{-0,43} = 0,511 \text{ mol}$$

$$V_{HCl} = \frac{m_{HCl}}{M_{HCl}} = \frac{1,375}{2,25} = 0,611 \text{ L}$$

$$V_{CH_3NH_2} = \frac{m_{CH_3NH_2}^{in}}{M_{CH_3NH_2}} = \frac{0,541 + 1,375}{3,50} = 0,539 \text{ L}$$



$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{reaz}}^{\circ} &= (\Delta H_{f,B}^{\circ} + 3\Delta H_{f,HCl}^{\circ}) - (\Delta H_{f,BCl_3}^{\circ} + \frac{3}{2} \Delta H_{f,H_2}^{\circ}) = \\ &= (\phi - 3 \cdot 92,31) - (-402,94 + \frac{3}{2} \cdot \phi) = \\ &= 126,01 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{reaz}}^{\circ} &= (S_{f,B}^{\circ} + 3S_{f,HCl}^{\circ}) - (S_{f,BCl_3}^{\circ} + \frac{3}{2} \cdot S_{f,H_2}^{\circ}) = \\ &= (5,86 + 3 \cdot 186,20) - (290,17 + \frac{3}{2} \cdot 130,68) = \\ &= 78,27 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G_{\text{reaz}}^{\circ} &= \Delta H_{\text{reaz}}^{\circ} - T \cdot \Delta S_{\text{reaz}}^{\circ} = 126,01 - 298,15 \cdot 78,27 \cdot 10^{-3} = \\ &= 102,7 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

Siccome $\Delta H^{\circ} > 0$ e $\Delta S^{\circ} > 0$, la reazione sarà spontanea per:

$$T > \frac{\Delta H^{\circ}}{\Delta S^{\circ}} = \frac{126,01 \cdot 10^3}{78,27} = 1610 \text{ K}$$